



Voice Over LTE: Desafios da solução de voz para a rede 4G

**Trabalho de Conclusão de Curso
Engenharia da Computação**

**José Guilherme Nascimento Sousa e Silva
Orientador: Edison de Queiroz Albuquerque**



**Universidade de Pernambuco
Escola Politécnica de Pernambuco
Graduação em Engenharia de Computação**

**José Guilherme Nascimento Sousa e
Silva**

**Voice Over LTE: Desafios da solução de voz
para a rede 4G**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia de Computação pela Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco.

Recife, Novembro de 2014.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter me proporcionado este desafio e concedido saúde e sabedoria para conseguir superar todas as dificuldades ao longo do caminho.

De modo especial a minha mãe, pessoa guerreira que desde meu nascimento propiciou um incessante incentivo em prol da minha educação.

Aos meus tios, tias, primos e primas por também contribuíram para minha formação profissional. Sem vocês não teria chegado tão longe e sou eternamente grato.

A minha namorada pelo seu amor, carinho e por sempre me fazer acreditar que posso ir mais além.

Aos meus amigos e mestres que ao longo destes anos puderam estar ao meu lado dividindo momentos de alegria, trabalho, decepções e sucessos contribuindo assim ao êxito acadêmico. Em especial ao meu orientador Edison Albuquerque por incentivar minha formação acadêmica (Pesquisa, Intercâmbio e TCC) e ao Professor Carmelo Bastos por sua disponibilidade e pelos conselhos que certamente fizeram a diferença em obter êxito ao longo do curso.

Resumo

O aumento progressivo do número de dispositivos conectados às redes móveis como smartphones, tablets e mais recentemente com o advento da internet das coisas (Internet of Things - IoT), aliado ainda com a evolução da rede de dados, trouxe aos usuários a possibilidade de acesso contínuo para aplicações que requerem ampla largura de banda e baixa latência, como por exemplo: Videoconferências, aplicações em tempo real, áudio e vídeo *on demand* etc. *Long Term Evolution* (LTE) é a quarta geração (4G) padrão de banda larga móvel que surge como o protocolo destinado a ser o sucessor da tecnologia 2G/3G GSM/UMTS que contribui para o desenvolvimento de um novo núcleo (*all-IP*) de comutação de pacotes que contempla todos os requisitos necessários às aplicações mais exigentes. Entretanto, quando o LTE foi criado, não existia voz trafegando sobre a rede. Para que a rede 4G/LTE suportasse receber e realizar chamadas, as operadoras precisaram adaptá-la. Atualmente existe duas possibilidades: Uma dela é de, no momento de receber a ligação, rebaixar o dispositivo móvel para a rede 2G/3G, a outra possibilidade surgiu um pouco depois, com a criação do VoLTE, no qual o telefone funciona normalmente na rede 4G/LTE. O objetivo principal deste trabalho procurou elucidar e descrever possíveis arquiteturas já documentadas e padronizadas na literatura e promover um estudo prático, em cenário real, que contribuisse para o levantamento de dados junto a operadoras de telecomunicações e possibilitasse apontar tendências que viabilizassem a curto e médio prazo a transmissão de voz e SMS na rede 4G/LTE. Os resultados mostraram que as operadoras, em nosso território, encontram-se em um estágio inicial (o primeiro dentre três níveis existentes - para o serviço de voz sobre LTE) onde, embora a cobertura 4G/LTE encontra-se em ampla expansão, o serviço de voz continua sendo oferecido para os clientes através de tecnologias legadas (2G/GSM ou 3G/UMTS) o que significa que muito ainda precisa ser discutido e aprimorado antes que o VoLTE esteja totalmente padronizado e pronto para chegar ao dispositivo móvel do cliente com todas as vantagens inerentes a um núcleo de rede *all-IP*.

Abstract

The progressive increase in the number of devices connected to mobile networks as smartphones, tablets, and more recently with the advent of the internet of things (Internet of Things - IoT) still allied with the evolution of the data network, brought users the possibility of continued access for applications requiring wide bandwidth and low latency. Ex: Video conferencing, real-time applications, audio and video on demand etc. Long Term Evolution (LTE) is the fourth generation (4G) mobile broadband standard that emerges as the protocol to be the successor of 2G / 3G GSM / UMTS technology and contributed to the development of a new core (all-IP) packet switching which included all the necessary requirements the most demanding applications. However, when LTE was created, there was no voice traveling over the network. For the 4G network / LTE could make and receive calls, operators need to adapt it. Currently there are two possibilidades: One of it is, at the time of receiving the call, the mobile fallback to 2G / 3G network. The other possibility arose a bit later, with the creation of VoLTE, in which the phone works normally on the network 4G / LTE. The main objective of this study sought to elucidate and describe possible architectures already standardized and documented in the literature and promote a practical study, in real scenario, which contributed to collected data from the telecom operators and point out possible trends that enable short and medium term transmission of voice and SMS on the network 4G / LTE. The results showed that the operators, in our country, are in an initial stage (the first of three existing levels - for Voice over LTE) where, although the cover 4G / LTE is in wide spread, voice service continues to be provided to customers through legacy technologies (2G / 3G or GSM / UMTS), which means that much still needs to be improved before discussed and will come back is completely standardized and ready to arrive at the mobile client with all their inherent in an all-IP core network benefits.

Sumário

AGRADECIMENTOS	2
RESUMO	3
ABSTRACT	4
ÍNDICE TABELAS	3
TABELA DE SIGLAS.....	4
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO E DESCRIÇÃO DO ESCOPO DO PROBLEMA.....	1
1.2 DETALHAMENTO DO PROBLEMA E HIPÓTESES LEVANTADAS	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	6
CAPÍTULO 2	7
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1 CONCEITOS BÁSICOS E EVOLUÇÃO DAS COMUNICAÇÕES MÓVEIS.....	7
2.1.1 <i>Primeira geração</i>	7
2.1.2 <i>Segunda geração</i>	8
2.1.3 <i>Terceira geração</i>	9
2.2 REDES LTE E O ATUAL CENÁRIO DAS TELECOMUNICAÇÕES	11
2.2.1 <i>Quarta geração</i>	11
2.3 EVOLUÇÃO DO SERVIÇO DE VOZ EM REDES LTE	13
2.3.1 <i>Primeira fase</i>	14
2.3.2 <i>Segunda fase</i>	14
2.3.3 <i>Terceira fase</i>	15
CAPÍTULO 3	16
ARQUITETURA DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS	16
3.1 <i>CIRCUIT SWITCH FALL BACK - CSFB</i>	16
3.2 <i>VOICE OVER LTE VIA GENERIC ACCESS – VOLGA</i>	19
3.3 <i>ONE VOICE</i>	23
3.4 <i>VOICE OVER LTE – VOLTE</i>	25
3.4.1 <i>Single Radio Voice Call Continuity</i>	28
CAPÍTULO 4 – ANÁLISES E RESULTADOS	30
4.1 ANÁLISE COMPARATIVA DAS SOLUÇÕES APRESENTADAS	30
4.2 CENÁRIO ATUAL DO SERVIÇO DE VOZ EM REDES LTE.....	34

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	36
5.1 CONCLUSÕES	36
5.2 TRABALHOS FUTUROS	39
ANEXO A	40
A.1).....	40
A.2).....	41
A.3).....	42
A.4).....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

Índice de Figuras

Figura 1 – Tráfego de dados global para dispositivos móveis – Adaptado [Cisco virtual networking, Fevereiro 2014]	1
Figura 2 - Arquitetura do VoLTE com IMS - ytd2525.wordpress.com, Maio 2012....	3
Figura 3 - Migração do serviço de voz – Takaki; Bazzo; Voz para a rede LTE, Dezembro de 2012.....	5
Figura 4 - Nucleo da rede móvel 2G – Alcatel-Lucent; Alcatel-Lucent Mobile Gateways for the LTE Evolved Packet Core, 2012.	9
Figura 5 - Núcleo da rede móvel 3G - Alcatel-Lucent; Alcatel-Lucent Mobile Gateways for the LTE Evolved Packet Core, 2012.	11
Figura 6 - Núcleo da rede móvel 4G - Alcatel-Lucent; Alcatel-Lucent Mobile Gateways for the LTE Evolved Packet Core, 2012	13
Figura 7 - Vista simplificada da Rede mista LTE + 2G/3G - adaptado [Qualcomm, <i>Circuit Switch fallback. The first phase of voice evolution for móible LTE devices, 2012]</i>	19
Figura 9 - Chamada Recebida: Procedimento de Paginação para circuito comutado via LTE - Qualcomm, <i>Circuit Switch fallback. The first phase of voice evolution for móible LTE devices, 2012</i>	17
Figura 10 - Procedimento de Fall back - Qualcomm, <i>Circuit Switch fallback. The first phase of voice evolution for móible LTE devices, 2012</i>	18
Figura 11 - Retorno para o LTE após uma chamada de voz - Qualcomm, <i>Circuit Switch fallback. The first phase of voice evolution for móible LTE devices, 2012.</i>	18
Figura 11 - Configuração básica da rede VoLGA - Martin Sauter, http://www.wirelessmoves.com – Agosto de 2009	20

Figura 13 – Topologia E-UTRAN - Alcatel-Lucent; Alcatel-Lucent Mobile Gateways for the LTE Evolved Packet Core, 2012	20
Figura 14 - Arquitetura EPS - Alcatel-Lucent; Alcatel-Lucent Mobile Gateways for the LTE Evolved Packet Core, 2012	21
Figura 16 - Arquitetura da rede VoLTE - Koshimizu, T.; Tanaka, I.; Nishida, K., "Improvement on the VoLTE (Voice over LTE) Domain Handover with Operator's Vision," World Telecommunications Congress (WTC), Março 2012.....	26
Figura 17 - Esquema de funcionamento Handover de voz SRVCC na rede LTE – Apresentação - Network Evolution with VoLTE Vivo	28
Figura 18 - Recursos de um usuário VoLTE – Modificado [Presentation Network Evolution with VoLTE Vivo]	33
Figura 19 - Configuração das bandas de rede disponíveis em smartphones - http://a.disquscdn.com/uploads/mediaembed/images/946/9118/original.jpg	38
Figura 20 - Diagrama de sequência dos eventos para o procedimento CSFB – Patentdocs, Circuit Switch FallBack Reselection, Abril 2012	40
Figura 21 – Diagrama de sequência de uma chamada na arquitetura VoLGA - www.kineto.com/pdf/downloads/2009_MartinSauter_VOLGA.pdf	41
Figura 22 – Diagrama de sequência de uma chamada de voz na rede VoLTE (Sinalização SIP) - Takaki Rucardo; Bazzo Juliano Voz para a rede LTE,dezembro 2012.....	42
Figura 23 - Diagrama de sequência do procedimento de SRVCC - http://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_SRVCC.html	43

Índice tabelas

Tabela 1 - Evolução do serviço de voz na rede LTE - “Adaptado de [Qualcomm, Circuit Switch fallback. The first phase of voice evolution for móible LTE devices, 2012]”.....	14
--	-----------

Tabela de Siglas

LTE - Long term evolution

GSM - Global system for mobile communications

GPRS - General Packet Radio Service

UMTS - Universal Mobile Telecommunication System

QoE - Quality of Experience

GSMA - Group Speciale Mobile Generation

3GPP - 3rd Generation Partnership Project

IMS - IP Multimedia Subsystems

EPS - Evolved Packet System

VoLTE- Voice Over LTE

UE- User Equipment

CSFB - Circuit Switch Fall Back

VOLGA - Voice over LTE via Generic Access

AMPS - Advanced Mobile Phone System

CDMA - Code Division Multiple Access

TDMA - Time Division Multiple Access

BTS - Base Transceiver Station

BSC - Base Station Controller

MSC - Mobile Switching Center

HLR - Home Location Register

PSTN - Public Switched Telephone Network

MMS- Multimedia messaging Service

IMT - International mobile communication

RNC - Radio network controller

SGSN - Serving GPRS Support Node

GGSN - Gateway GPRS Support Node

PDN - Packet Data Network

SMS - Short Message Service

QoS - Quality of Service

SGW - Serving Gateway

MME - Mobility Management Entity

PCRF - Policy and Charging Rules Function

eNodeB - Enhanced NodeB

CS - Circuit Switched

PS - Packet Switched

RCS - Rich Communication Suite

SRVCC - Single Radio Voice Call Continuity

ESR - Extended Service Request

DTM - Dual transfer mode

NAS - Non-Access Stratum

GAN - Generic Network Access

VANC - Volga Access Network Controller

E-UTRAN - Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network

UMA - Universal Mobile Access

SeGW - Security Gateway

HSS - Home Subscriber Server

DTAP - Direct Transfer Application Part

UNI - User Network Interface

NNI-I - Interconnect Network-Network interface

MMTel - Multimedia Telephony Service

AS - Application Server

S-CSCF - Serving Call Session control Function

SIP - Session Initiation Protocol

Capítulo 1

Introdução

Neste trabalho de conclusão de curso é realizado um estudo dirigido sobre a viabilidade do serviço de voz sobre LTE, (*Long Term Evolution*) padrão de banda larga móvel de 4^a Geração (4G).

Este capítulo está dividido em três seções. Na Seção 1.1 é introduzida a caracterização do atual cenário das comunicações móveis e o escopo do problema abordado. A seção 1.2 traz o detalhamento do problema e hipóteses levantadas mediante os impactos das soluções abordadas. Por fim, na Seção 1.3 é apresentada a organização do restante do documento.

1.1 Caracterização do cenário e Descrição do escopo do problema.

Na Figura 1, fica evidenciado a crescente demanda de tráfego de dados no decorrer dos últimos anos e uma pequena projeção para o futuro.

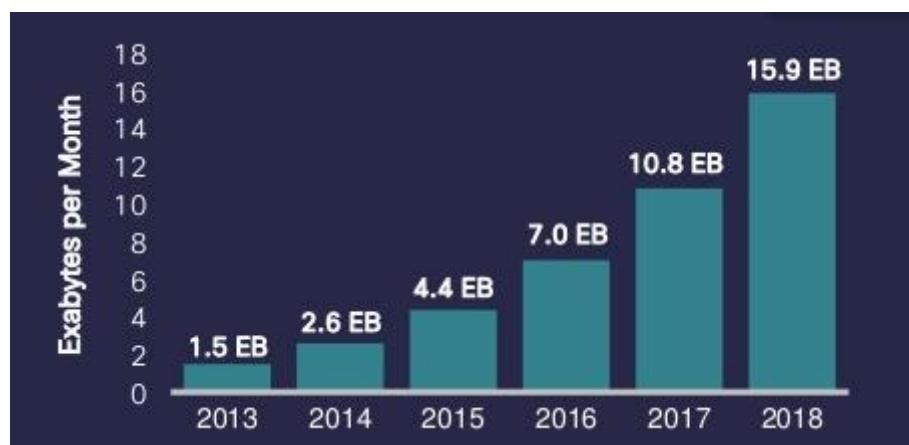


Figura 1 - Tráfego de dados global para dispositivos móveis – Adaptado [Cisco virtual networking, February 2014]

Usuários finais estão cada vez mais interessados em aplicações cuja taxa de transferência de dados seja importante, em decorrência de uma maior interatividade e exigência de comunicação em tempo real no mundo globalizado e dinâmico que se vive. Características como: taxas de *downloads* e *uploads* mais rápidos, *e-mails*, videoconferências, compartilhamento de aplicativos de áudio e vídeos, jogos em tempo real, etc passaram a ter um papel fundamental no dia a dia das pessoas.

O *Long Term Evolution*, ou simplesmente LTE, é uma rede móvel que oferece uma arquitetura plana (não hierárquica), *all-IP*, com maior capacidade e maiores velocidades, bem como a qualidade da experiência exigida pelos usuários finais para serviços avançados. Difere das tecnologias GSM (*Global System for Mobile Communications*), GPRS (*General Packet Radio Service*) e UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*), as quais são um pouco mais voltadas para o tráfego de voz, apesar de suportarem envio de dados com certas limitações de largura de banda, latência e QoE (*Quality of Experience*).

Quando o LTE foi criado, não existia voz trafegando sobre a rede. Contudo é importante salientar que as operadoras de telefonia móvel, que recebem "mais de 60% de suas receitas de Voz e SMS" [1], não podem ignorar a continuidade destes dois serviços. Assim operadoras e fornecedores de equipamentos têm de concordar quanto a melhor solução de transferência do serviço de voz neste mundo totalmente IP.

1.2 Detalhamento do problema e Hipóteses levantadas

Quando se trata de tráfego de voz, GSMA(*Group Speciale Mobile Generation*) e 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) concordam que a melhor solução para este serviço chegará para o usuário final através do IMS (*IP Multimedia Subsystems*), o qual é um dos sistemas da arquitetura de rede LTE chamado EPS (*Evolved Packet Systems*). O IMS se comunica com o núcleo da rede LTE conhecido por EPC (*Evolved Packet Core*) [3].

Além de possuir uma arquitetura sofisticada e um grande conjunto de funcionalidades, desenvolvido após mais de dez anos de trabalho pelo 3GPP, e milhares de páginas de especificações, o objetivo é garantir a continuidade do serviço, interoperabilidade e *roaming* entre os operadores.

A Figura 2 ilustra o cenário objetivo em alto nível da arquitetura VoLTE(*Voice over LTE*), onde fica evidenciada a integração existente entre a rede LTE/EPC (*Evolved Packet Core* – novo núcleo da rede de pacotes IP do sistema LTE) e o IMS. Isto permite não só que o serviço de voz, como também uma rica variedade de aplicações multimedia como SMS, MMS, IPTV etc trafeguem pela rede.

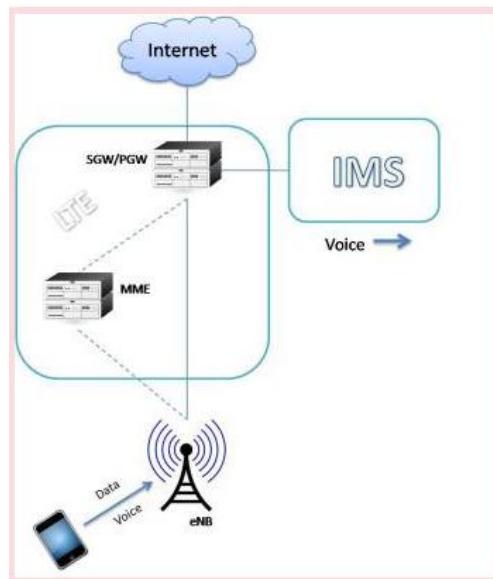


Figura 2 - Arquitetura do VoLTE com IMS -

ytd2525.wordpress.com, Maio 2012

O IMS, infelizmente, está sofrendo de sua própria complexidade, através de uma infraestrutura sofisticada, porém pesada. Por suportar muitos recursos, a plena implementação IMS deverá custar muito tempo e dinheiro para os operadores, sem qualquer garantia de que, ao final, o usuário realmente possa precisar de todos esses novos serviços. Além disso não há nenhuma segurança de que os custos desse grande investimento sejam cobertos. Outro ponto é que, apesar de estarem

disponíveis no mercado, os terminais móveis conhecidos como UE(*User Equipment*), não possuem um cliente IMS [2] totalmente integrado, por este motivo os operadores não devem seguir para a abordagem imediata *FULL-IMS*.

Como explicado anteriormente os operadores ainda não estão prontos para adotar uma abordagem em que o LTE ofereça suporte para chamadas de voz na presença do IMS no núcleo da rede. Diversas alternativas tem sido criadas neste sentido, pois, para dar mais tempo para que a rede e os aparelhos estejam prontos e possam implantar uma abordagem gradativa FULL-IMS, o uso de mecanismos provisórios torna-se obrigatório.

Entre as alternativas estão:

- CSFB (*Circuit Switch Fall Back*) que oferece o serviço para o usuário final utilizando a atual rede de telecomunicação GSM/UMTS. CSFB permite solução de voz, de único rádio, para aparelhos LTE utilizando a sinalização da rede para determinar quando deve comutar entre a rede de dados PS(*Packet-Switch*) e a rede de voz 2G/3G CS (*Circuit Switch*). Embora, as necessidades de comutação imponham alguns desafios técnicos, CSFB é a solução para a realidade de redes mistas de hoje e durante toda a transição das futuras fases da evolução da rede LTE.
- VOLGA ou *Voice over LTE via Generic Access* (SAUTER, 2009), baseado no padrão 3GPP *Generic Network Access* existente (GAN). O objetivo do GAN é estender os serviços móveis através de uma rede de acesso IP genérico. De acordo com as especificações do VOLGA, o objetivo é fazer com que os serviços de circuito comutado tradicional GSM/UMTS estejam disponíveis para UEs que acessam a EPS via E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Acess*).
- A abordagem *One Voice* foi anunciada em novembro 2009 após a coordenação entre operadoras, fabricantes de aparelhos e desenvolvedores do núcleo da rede. Com sua adoção pelo GSMA, em janeiro de 2010, adquiriu apoio da maioria das operadoras e um forte *line-up* de fornecedores. O escopo original do *One Voice* conclui que deve-se ter o básico das

especificações necessárias do IMS, com o foco primeiro na voz, para depois poder-se direcionar os serviços que os assinantes possam abranger. Assim a abordagem *one voice* é uma boa solução para alcançar a solução alvo *FULL-IMS*

- Com a presença do FULL-IMS na EPS e com a convergência das redes móveis, a tecnologia VoLTE (*Voice over LTE*) é uma tendência de suporte do serviço de voz de 4G em telefonia móvel.

Grandes debates e polêmicas foram iniciados em diferentes fóruns para decidir qual abordagem será a solução final para superar o desafio da migração do serviço de voz em redes comutadas por circuito 2G/3G para uma arquitetura LTE comutada por pacote, conforme Figura 3. O objetivo principal deste trabalho é elucidar e descrever possíveis arquiteturas já documentadas e/ou padronizadas na literatura e promover, estudos teórico-práticos para levantamento de dados confrontando características e apontando tendências que possam viabilizar a curto e médio prazo a transmissão de voz na rede LTE.

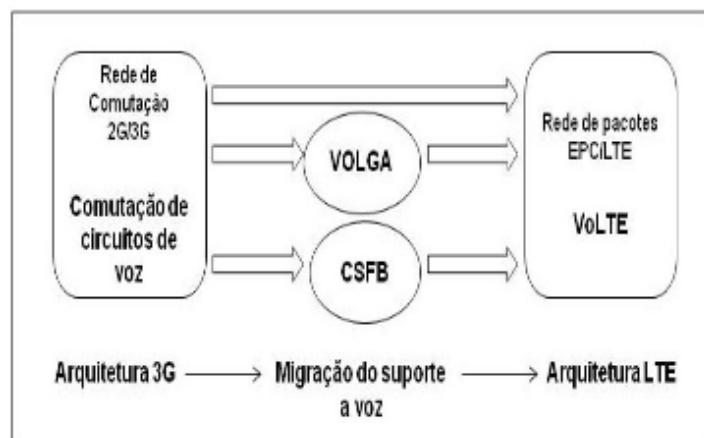


Figura 3 - **Migração do serviço de voz** – Takaki; Bazzo; Voz para a rede LTE, Dezembro de 2012

1.3 Organização do documento

Este documento está dividido em 5 capítulos. No Capítulo 2 é apresentada toda a fundamentação teórica necessária para o entendimento deste trabalho, mais especificamente os conceitos básicos e evolução das comunicações móveis. No Capítulo 3 as técnicas que propiciam o serviço de voz na rede 4G/LTE são descritas detalhadamente. No Capítulo 4 é realizado uma análise comparativa das soluções apresentadas juntamente com um estudo do atual cenário encontrado nas operadoras. Por fim, no Capítulo 5 são realizadas as considerações finais e trabalhos futuros a serem realizados.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Neste capítulo serão apresentados os conceitos teóricos necessários para o entendimento do problema e a proposta de solução mencionados nesta monografia. Na seção 2.1 serão explicados os conceitos básicos e a evolução das comunicações móveis. Na seção 2.2 apresenta-se o atual cenário das telecomunicações, com ênfase nas redes 4G/LTE. Na seção 2.3 serão apresentadas as fases da evolução 4G/LTE para serviços de chamadas de voz e algumas abordagens que surgem como solução provisória, até que o IMS apresente uma implementação completa.

2.1 Conceitos básicos e evolução das comunicações móveis

Para entender o atual cenário e as necessidades envolvidas que acarretaram na evolução das redes móveis, é necessário se remeter ao passado e considerar os avanços feitos no desenvolvimento das comunicações móveis e os impactos ocasionados no cotidiano das pessoas.

O conceito de comunicação móvel é bastante primitivo e pode ser definido como a possibilidade de movimento relativo entre partes ou as partes sistêmicas envolvidas [4]. Como principal exemplo tem-se a telefonia celular, cujo conceito foi concebido para melhor aproveitamento do o limitado espectro de radiofrequências, permitindo ao mesmo tempo grandes áreas de cobertura.

2.1.1 Primeira geração

Os primeiros relatos da história da comunicação móvel como um sistema, por meio da concepção da telefonia celular, remonta ao ano de 1947 e foi introduzido pela AT&T Bell Laboratories, por meio da modulação AM. Por possuir um baixo desempenho, (desperdício da potência transmitida e da largura de faixa do canal, e tornando-se suscetível a ruídos) a AT&T Bell Laboratories em 1962 implementou um

sistema com modulação FM na faixa de VHF com canais de 30Khz. Sua primeira utilização foi em 1979 e foi denominado de sistema AMPS (Advanced Mobile Phone System). Esta foi a primeira geração de sistemas celulares.

2.1.2 Segunda geração

Devido a uma alta demanda por comunicação móvel e pela necessidade de padronização para o sistema celular europeu, foi necessário dar início ao desenvolvimento de sistemas digitais. Os sistemas digitais oferecem diversas vantagens sobre os sistemas até então analógicos, como: maior capacidade de usuários, técnicas de codificação digital, maior eficiência espectral, melhor qualidade de voz, facilidade para comunicação de dados e criptografia da informação transmitida. Logo a segunda geração surgiu e substituiu a tecnologia 1G. Existem vários sistemas 2G, sendo CDMA e GSM os mais populares.

O CDMA (*Code Division Multiple Access*) é um método de acesso a canais, em sistemas de comunicação sem fio, em que o transporte das informações ocorre por meio de ondas de rádio. No sistema CDMA, todos os assinantes transmitem e recebem informações usando o mesmo canal, ao mesmo tempo. A cada assinante, é atribuído um código exclusivo. Para receber informações de um assinante específico só conhecendo o seu código.

O GSM (*Global System for Mobile Communications*), originalmente desenvolvido no Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações (ETSI), é uma tecnologia utilizada em sistemas celulares, de segunda geração, sendo a mais popular no mundo. Surgiu nos anos 80 oferecendo vantagens de serviços de baixo custo, como: troca de mensagens de texto para o consumidor, e infra-estrutura para as operadoras, devido a sua competição aberta. Possui ainda facilidade de *roaming* devido a sua difusão por mais de 200 países. A principal desvantagem é que o sistema GSM (com 8 *time-division channels* em 200Khz) é baseado em TDMA (Time Division Multiple Access), considerada menos avançada que sua concorrente CDMA e sem muita perspectiva de expansão. Em resumo, a rede GSM é uma rede de comutação de circuitos, ideal para a entrega de voz, mas com limitações para o envio de dados.

A rede de GSM é constituída pelos seguintes elementos: (vide Figura 4)

- UE: *User Equipment*: Qualquer dispositivo usado diretamente pelo usuário final para se comunicar.
- BTS: *Base Transceiver Station*: Uma célula local usado para facilitar a comunicação sem fio entre o UE e a rede.
- BSC: *Base Station Controller*: O BSC fornece o controle de muitas BTS e atua como um concentrador para o Mobile Center Switching (MSC). O BSC lida com a alocação de canais de rádio e controla handovers de BTS para BTS.
- MSC: *Mobile Switching Center*: O MSC lida com a gestão da mobilidade de chamadas de voz e *Short Message Service* (SMS).
- HLR: *Home Location Register*: O HLR é uma base de dados central que contém detalhes de cada assinante de telefonia móvel.
- PSTN: *Public Switched Telephone Network*: Um sistema de comunicação pública que fornece serviços de telefonia.

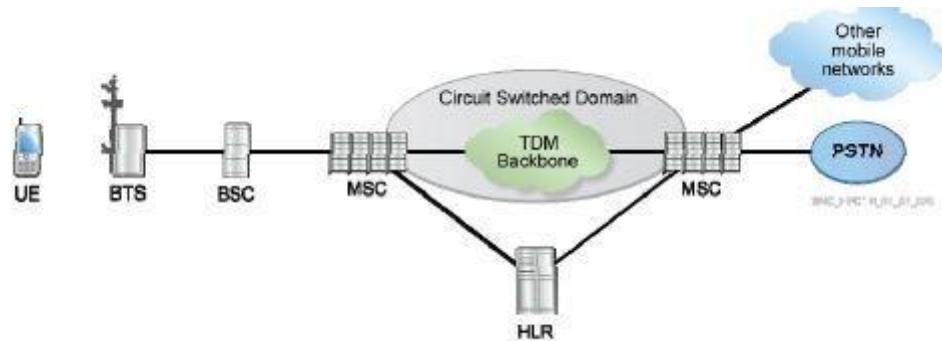


Figura 4 - Núcleo da rede móvel 2G – Alcatel-Lucent; Alcatel-Lucent Mobile Gateways for the LTE Evolved Packet Core, 2012.

2.1.3 Terceira geração

Ao longo do tempo, a necessidade de fornecer o tráfego IP foi constatado. Em 2000, o "General Packet Radio Service (GPRS)" foi adicionado ao sistema GSM existente para oferecer prestação de serviços de dados através de uma rede de

comutação de pacotes. Não houve alterações na rede de voz. Sistemas 2G foram estendidos a 2.5G.

Com o GPRS, os usuários puderam ter acesso a serviços de Internet e MMS (Multimedia Messaging Service) em seus aparelhos móveis. Os sistemas 2.5G foram reforçadas para sistemas 3G e 3.5G, oferecendo taxas de transmissão mais altas para oferecer suporte a recursos adicionais(aplicações multimídia) e atender ao IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000). Os principais padrões 3G utilizados atualmente são o UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), baseado no GSM e com capacidade de download de até 56 Mbps nominais; e o CDMA2000, baseado no CDMA, e permitindo uma taxa de download de até 14 Mbps.

A rede GPRS consiste dos seguintes elementos: (vide Figura 5)

- UE: Qualquer dispositivo usado diretamente pelo usuário final para se comunicar.
- NodeB: Um termo usado para a célula local 3G. Equivalente a BTS utilizados no GSM.
- RNC: *Radio Network Controller*: RNC é responsável por controlar as NodeBs que estão conectados a ele.

Duas novas entidades adicionadas a central de comutação de pacotes:

- ❖ SGSN: *Serving GPRS Support Node*: SGSN lida com gestão de mobilidade para 3G e é responsável por entregar os pacotes de dados que chegam e saem das estações móveis.
- ❖ GGSN: *Gateway GPRS Support Node*: GGSN fornece conectividade às redes de comutação de pacotes externos, como a Internet. Ele converte os pacotes GPRS provenientes da SGSN para pacotes IP e os envia para a rede de pacote de dados correspondente. GGSN também mantém o encaminhamento necessário para tunelar os pacotes IP para o SGSN que serve uma estação móvel particular.
- HLR: *Home Location Register*. O banco de dados principal do usuário.

- PDN: *Packet Data Network*: Pacote de unidade de dados transportada por uma rede de comutação de pacotes.

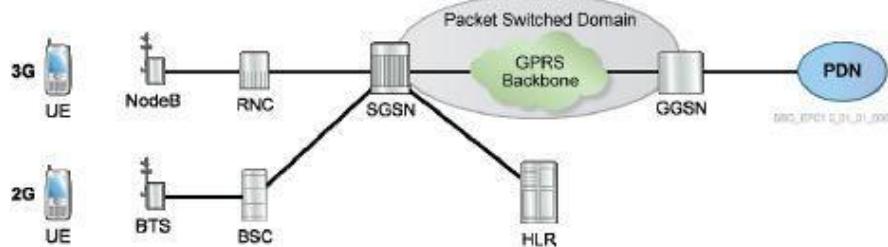


Figura 5 - Núcleo da rede móvel 3G - Alcatel-Lucent; Alcatel-Lucent Mobile Gateways for the LTE Evolved Packet Core, 2012.

2.2 Redes LTE e o atual cenário das telecomunicações

2.2.1 Quarta geração

As aplicações móveis estão mudando rapidamente de SMS (*Short Message Service*) e acesso web *Best-effort* para aplicações de banda larga. Esta mudança requer um novo núcleo (*all-IP*) de comutação de pacotes que ofereça alta taxa de dados com baixa latência suportando aplicações multimídia interativas e em tempo real.

O suporte para aplicações sensíveis ao atraso, como voz e jogos em tempo real, exige garantia de qualidade de serviço para o usuário final.

LTE introduz esta mudança no núcleo da rede e oferece um conceito de QoS(*Quality of Service*) simples com 9 classes e alguns atributos para cada classe. A política de QoS para cada serviço é determinado pelo EPC sempre que uma UE pede a abertura de um aplicativo específico. O novo núcleo vai possibilitar novos

modelos de negócios e impulsionar serviços, tais como Internet de alta velocidade, aplicações multimídia, redes sociais e jogos online e não só aquele motor de receita, das gerações anteriores, composto por voz e SMS.

Como foi dito, uma rede LTE oferece uma arquitetura de pacotes totalmente IP *end-to-end*. Um canal IP conecta o UE para o *Evolved NodeB* (eNodeB). O EPC é um núcleo de comutação de pacotes que é composta por quatro elementos: o *Serving Gateway* (SGW), *Mobility Management Entity* (MME), *Packet Data Network Gateway* (PDN GW) e *Policy and Charging Rules Function* (PCRF). O EPC oferece ao usuário uma conectividade IP para a rede de dados (PDN).[5]

A migração para LTE tem sido feita gradualmente, através da melhoria da rede básica e, inicialmente, a introdução da tecnologia de rádio LTE em áreas de alta demanda. Daí, a necessidade do LTE interagir com as tecnologias de rádio existentes é crucial.

A rede 4G LTE consiste dos seguintes equipamentos: (vide Figura 6)

- UE: Qualquer dispositivo usado diretamente pelo usuário final para se comunicar.
- eNodeB (*enhanced NodeB*): eNodeB entre outras funções é responsável principalmente por todo o gerenciamento de recursos de rádio, incluindo configuração, controle inicial de admissão e alocação da portadora de rádio, bem como designa dinâmicamente recursos rádio para UEs.
- SGW: O SGW realiza o roteamento de pacotes no *User Plane*, enquanto age como gestor da mobilidade durante o processo de *handover* inter-eNodeB ou no *handover* entre o acesso LTE e outras redes 3GPP, direcionando o tráfego dessas redes legadas ao PGW.
- MME: O MME é o elemento de controle da rede de acesso. É responsável pela gerência de mobilidade do UE (*User Equipment*), procedimentos de *location*, *paging* e retransmissões. Também tem a tarefa de autenticar o usuário na rede (através da interação com o HSS)

- PRCF: O PRCF é responsável por suportar e detectar fluxos de serviço de dados, permitindo ao sistema tarifar e aplicar políticas com base neste fluxo de dados.
- PGW: O PDN Gateway provê conectividade entre o UE e qualquer rede de dados externa, sendo o nó de saída e entrada do tráfego de dados de usuário.
- PDN: Pacote de unidade de dados transportada por uma rede de comutação de pacotes.

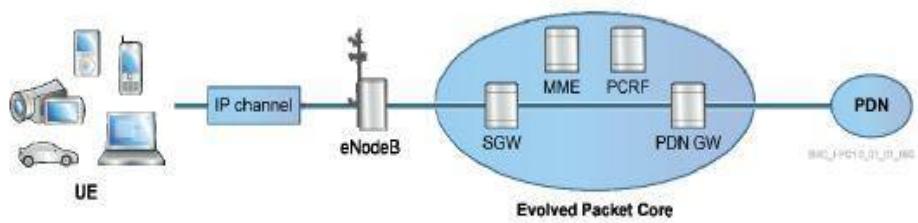


Figura 6 - Núcleo da rede móvel 4G - Alcatel-Lucent; Alcatel-Lucent Mobile Gateways for the LTE Evolved Packet Core, 2012

2.3 Evolução do serviço de voz em redes LTE

O tráfego de voz em aparelhos LTE está evoluindo assim como a infraestrutura da indústria móvel em direção de uma disponibilidade ubíqua. O desenvolvimento de *smartphones* LTE vem atender a grande expectativa de hoje, contribuindo para uma melhor experiência do usuário móvel e proporcionando tanto a voz como os serviços de comunicação mais amplos [6].

Esta evolução é apresentada em três fases, segundo a Tabela 1.

Primeira Fase: Aparelhos de dados LTE	Segunda Fase: Aparelhos de VOIP LTE	Terceira Fase: Convergência
LTE/3G Data + 2G/3G Voice	Simultâneo VoLTE + Ricos serviços de dados	Telefonia multimídia + Serviços de dados
2011 ~ 2012	2013	2014 ~ 2015

Tabela 1 - **Evolução do serviço de voz na rede LTE** - “Adaptado de [Qualcomm, Circuit Switch fallback. The first phase of voice evolution for móible LTE devices, 2012]”

2.3.1 Primeira fase

Na primeira fase, atualmente em curso, todo o tráfego de voz é feito por redes legadas de comutação por circuito (CS), enquanto que o tráfego de dados é feita por redes LTE comutada por pacotes (PS), quando e onde disponível, e por redes 2G/3G como alternativa em áreas fora da cobertura LTE.

A solução *single-radio* foi utilizada em detrimento a *dual-radio*, embora mais simples, pois é baseada exclusivamente no aparelho e não são necessárias alterações na rede, uma vez que irá simultaneamente obter os serviços de dados LTE e o serviço de voz a partir do modo circuito comutado. Contudo, o aparelho pode se tornar mais caro e com maior consumo de energia.

Portanto, Soluções *single radio* utilizam CSFB para alternar entre a rede LTE e o modo de acesso 2G/3G. CSFB tornou-se a solução global predominante para interoperabilidade de voz e SMS em aparelhos LTE iniciais, principalmente devido ao custo, tamanho e vantagens inerentes de soluções *single-radio* no lado do dispositivo. Em 2011, o CSFB foi lançado comercialmente em várias regiões ao redor do mundo, e é o primeiro passo para as fases subsequentes de evolução da voz sobre LTE.

2.3.2 Segunda fase

A segunda fase na evolução de voz em LTE introduziu VoIP nativo sobre LTE (VoLTE), juntamente com avançados serviços multimídia IP, tais como video

telephony, HD Voice e Rich Communication Suite (RCS), mensagens instantâneas, compartilhamento de vídeo, etc.

Esta fase também utiliza uma solução SRVCC (*Single Radio Voice Call Continuity*) que mantém as chamadas de voz com os usuários móveis deslocando entre LTE e áreas de cobertura não-LTE. CSFB continua a ser implantado durante a segunda fase, para fornecer serviços de voz para *roamers* e dispositivos somente CSFB.

2.3.3 Terceira fase

A terceira fase converge para uma maior capacidade e serviços de redes *all-IP* (voz e vídeo sobre IP e RCS) para cobertura contínua em toda a gama de métodos de acesso à rede, incluindo LTE, 3G/HSPA e Wi-Fi, com a interoperabilidade entre operadoras e domínios de telefonia legados.

Capítulo 3

Arquitetura das soluções propostas

Neste capítulo serão detalhadas as soluções mencionadas e todas as suas características que permitem oferecer o serviço de voz sobre LTE com qualidade para o usuário final.

Este capítulo encontra-se dividido em seções. Cada seção irá contemplar uma arquitetura da solução sobre a qual trafega o serviço voz, descreverá todo o layout físico e analisará o funcionamento do serviço. Assim a seção 3.1 abordará o CSFB (*Circuit Switch Fall Back*), a seção 3.2 discutirá o VOLGA ou *Voice over LTE via Generic Access*, a seção 3.3 se referirá a abordagem *One Voice* e por fim a seção 3.4 tratará da solução VoLTE (*Voice over LTE*).

3.1 *Circuit Switch Fall Back - CSFB*

Nesta arquitetura a rede legada 2G/3G (GSM/UMTS) e a rede 4G LTE coexistem formando uma rede mista. Estas duas redes irão residir entre o equipamento do usuário móvel e o núcleo da rede conforme a Figura 7.

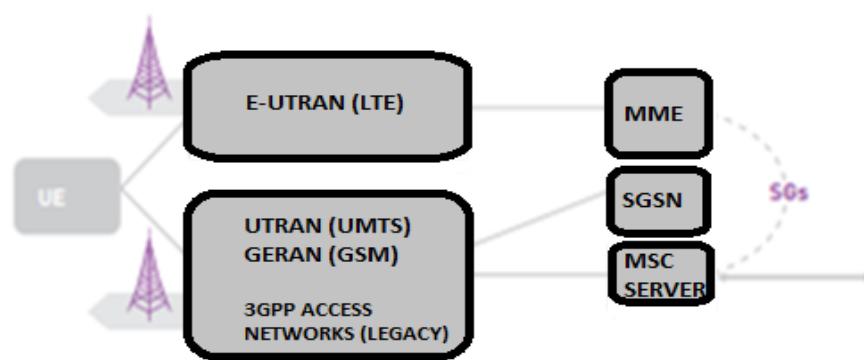


Figura 7 - Vista simplificada da Rede mista LTE + 2G/3G - adaptado [Qualcomm, *Circuit Switch fallback. The first phase of voice evolution for mobile LTE devices*, 2012].

Neste cenário o MME serve aos usuários durante o acesso LTE. O SGSN assiste aos usuários para um acesso 2G/3G ao utilizar o serviço de dados enquanto o servidor MSC ao empregar os serviços de voz.

O LTE fica responsável apenas pelos serviços de dados. Caso haja início ou recebimento de uma chamada de voz, retrocede para rede 2G/3G, comutado por circuito.

Para suportar o retrocesso para comutação por circuito, uma nova interface SGs é adicionada na arquitetura LTE. A interface SGs funciona como um ponto de referência entre o servidor MME e o servidor MSC sendo utilizada no gerenciamento de mobilidade e procedimento de paginação.

Com a conexão padrão da rede de dados LTE estabelecida, um terminal móvel que recebe uma chamada de voz (entrada) ativa uma página via LTE para o dispositivo do usuário, como mostrado na Figura 8.



Figura 8 - **Chamada Recebida: Procedimento de Paginação para circuito comutado via LTE**

- Qualcomm, *Circuit Switch fallback. The first phase of voice evolution for mobile LTE devices*, 2012.

Esta página inicia o CSFB. Então o dispositivo envia uma solicitação de serviço (*Extended Service Request - ESR*) para a rede permitindo a transição para 2G/3G, conforme Figura 9.

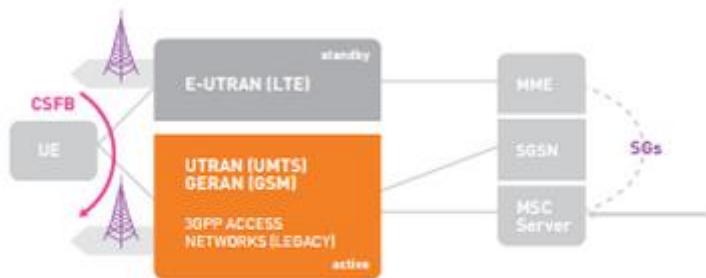


Figura 9 - **Procedimento de Fall back** - Qualcomm, *Circuit Switch fallback. The first phase of voice evolution for móible LTE devices*, 2012.

Uma vez concluída a transição, os mesmos procedimentos de configuração legados são utilizados para, agora, configurar a chamada comutada por circuito.

Quando o dispositivo móvel origina as chamadas (saída), elas seguem a mesma transição de LTE (PS) para 2G/3G (CS), com exceção da etapa de paginação, que não é necessária.

Em redes 3G, sessões de dados PS podem também mover-se simultaneamente para os serviços de voz e dados. Em redes 2G, sessões de dados PS pode ser suspensas até o término de chamadas de voz e então o dispositivo regressa ao LTE, a menos que a rede 2G suporte *Dual transfer mode* (DTM), que permite a transmissão simultânea de voz e dados.

Quando a chamada de voz termina, o aparelho retorna para a rede LTE, conforme a Figura 10.

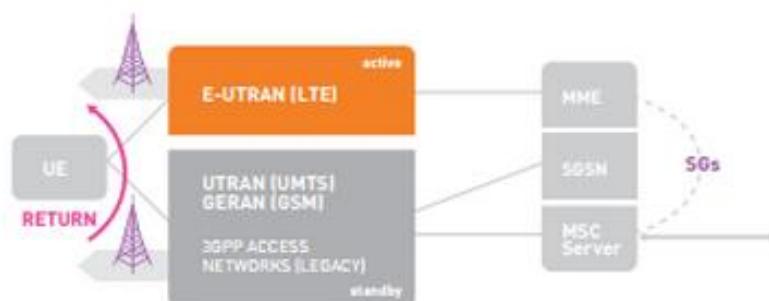


Figura 10 - **Retorno para o LTE após uma chamada de voz** - Qualcomm, *Circuit Switch fallback. The first phase of voice evolution for móible LTE devices*, 2012.

No caso do SMS, este pode ser enviado sem deixar a rede LTE (o aparelho pode usar a relação conhecida SG-SMS, que permite que as mensagens sejam enviadas através de um canal LTE com interface entre o core CS e o EPC, sinalizados por meio do NAS (*Non-Access Stratum*)).

No Anexo A ((Seção A.1) - Figura 19) encontra-se um diagrama de sequência mais detalhado dos eventos que ocorrem durante o procedimento CSFB.

3.2 *Voice over LTE via Generic Acess – VoLGA*

A abordagem VOLGA teve seu início por volta de março de 2009 com o intuito de ampliar os serviços de voz e SMS tradicionais sobre redes de acesso LTE sem a necessidade de uma re-arquitetura da rede. VoLGA é baseado no padrão 3GPP *Generic Network Access* existente (GAN). O objetivo do GAN é estender os serviços móveis através de uma rede de acesso IP genérico.

O conceito permite que a infra-estrutura de telefonia existente ofereça um serviço de pacotes entregues sobre IP via LTE, o que significa fazer uso da sinalização GSM sobre IP e elevar o núcleo da rede de voz a ser capaz de oferecer um serviço de pacotes através da rede de acesso LTE.

Isto ocorre por meio de um tunelamento do tráfego de voz através da rede LTE a partir de um servidor *VoLGA Acess Network Controller* (VANC). A configuração básica da rede VoLGA pode ser vista na Figura 11.

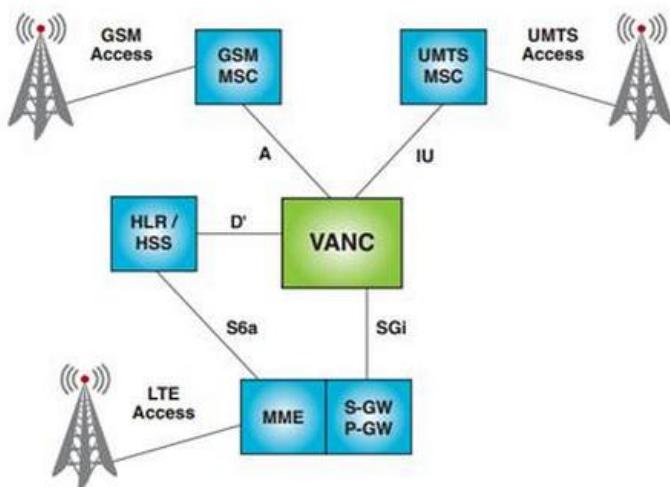


Figura 11 - Configuração básica da rede VoLGA - Martin Sauter,
<http://www.wirelessmoves.com> – August 2009

E-UTRAN consiste de NodeBs evoluídos (eNodeBs – Elemento da rede de acesso de rádio LTE) interligados uns aos outros por meio de uma interface, ilustrado na Figura 12. Os eNodeBs fornecem terminação da interface aérea dos UEs e é responsável por todo o gerenciamento de recursos de rádio.

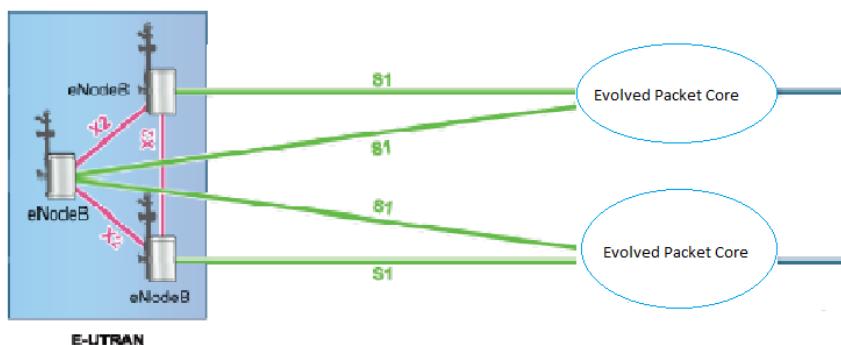


Figura 12 – Topologia E-UTRAN - Alcatel-Lucent; Alcatel-Lucent Mobile Gateways for the LTE Evolved Packet Core, 2012

O EPS consiste do E-UTRAN e do EPC. O principal objetivo do EPS é fornecer uma conectividade IP entre um UE e uma rede de pacote de dados, permitindo ao usuário o envio e o recebimento de tráfego para rede externa, conforme Figura 13.

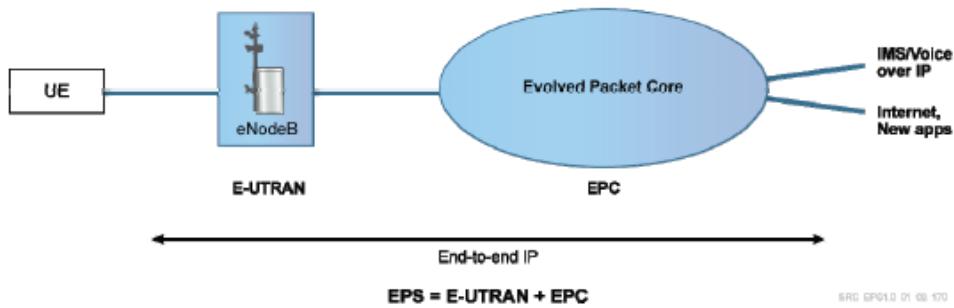


Figura 13 - **Arquitetura EPS** - Alcatel-Lucent; Alcatel-Lucent Mobile Gateways for the LTE
Evolved Packet Core, 2012

A ideia principal foi adaptar o sistema *Universal Mobile Access/Generic Network Access* (UMA/GAN) para o LTE.

Portanto, nenhuma reinvenção da funcionalidade existente deve ocorrer. Apenas fornece ao UE uma conexão "virtual" à rede central (2G/3G) já implantado por um operador. O terminal e a rede reutilizam, assim, a maioria dos mecanismos existentes, implantação e aspectos operacionais.

VoLGA suporta dois modos de operação, representados na Figura 11:

- VoLGA A-mode: Suporta uma extensão dos serviços GSM CS (através do protocolo de tunelamento *Non Access Stratum* (NAS)) entre o UE e o núcleo da rede EPS(E-UTRAN + EPC) e a interface A-CS para o MSC.
- VoLGA Iu-mode: Suporta uma extensão dos serviços UMTS CS (através do protocolo de tunelamento *Non Access Stratum* (NAS)) entre a UE e o núcleo da rede EPS (E-UTRAN + EPC) e a interface Iu-CS para o MSC.

NAS é uma camada funcional nas pilhas de protocolo UMTS e LTE, entre UE e o MME. O NAS é um protocolo de mensagens passadas entre o equipamento do usuário e Core Nodes de forma transparente através da rede de rádio.

Comparado com GSM, o VANC seria equivalente a BSC e comparada com UMTS, equivaleria a RNC. Através das interfaces IU ou A, o VANC conecta ao GSM ou UMTS dependendo do serviço e exigências do operador de rede. O VANC inclui uma função Security Gateway (SeGW) que provê um túnel de acesso remoto seguro a partir de cada UE, fornecendo autenticação, criptografia e proteção para tráfego de sinalização.

Quando um dispositivo móvel está ligado e detecta uma rede LTE, ele é registado primeiro na MME, onde ela consulta os dados do assinante na HLR/HSS através da interface S6a. Depois de registrado, o usuário solicita uma conexão com a VANC, pré configurando o IP da VANC no UE ou adquirindo via DHCP. Sendo o IP da VANC conhecido, o móvel estabelece um túnel IPSec através da rede de rádio do LTE sobre a interface SGi. O VANC então autentica o usuário com a ajuda de informações do HLR/HSS através da interface D'. Em seguida o usuário conecta-se a MSC através do VANC utilizando um protocolo já conhecido pelas redes GSM e UMTS, que é o DTAP (*Direct Transfer Application Part*). As mensagens trafegadas entre o dispositivo e a MSC são de forma transparente por todos os componentes da rede, pois o VANC adiciona informações simulando uma célula GSM ou UMTS seguindo os respectivos padrões das tecnologias.[7]

No Anexo A ((Seção A.2) - Figura 20) encontra-se um diagrama de sequência mais detalhado dos eventos que ocorrem durante a realização de uma chamada na arquitetura VoLGA.

3.3 **One Voice**

A abordagem *One Voice* foi anunciada em novembro de 2009, após a cooperação entre várias operadoras e fornecedores de equipamentos a respeito do núcleo da rede e fabricação de aparelhos. A ideia principal era utilizar uma solução simplificada já absorvendo o IMS, o qual permite um subconjunto de funcionalidades para um serviço de voz equivalente ao que temos hoje no CS. Portanto, o *One Voice* possui como foco principal a voz (os demais serviços multimídia devem ser adicionados gradualmente a medida que os assinantes possam absorvê-los) e precedeu a chegada do VoLTE.

Após a adoção dessa abordagem pelo GSMA em 2010, o *One Voice* começou a atrair a atenção do mercado e contar com o apoio das principais operadoras e fornecedores.

O GSMA acrescentou três interfaces, de modo a tratar todo o ecossistema de voz e SMS de ponta a ponta, mantendo, também, o foco em interfaces de *roaming* e interconexão, para além da interface entre cliente e a rede.

A primeira interface, UNI (*User Network Interface*), como mostrado na Figura 14, está localizado entre o usuário e o operadora. Define uma interface comum para o usuário e se beneficia da manutenção da capacidade de *roaming*, fornecendo em escala global uma maior economia dos recursos de pesquisa e desenvolvimento, resultado também de uma maior economia para os fornecedores. [8]

A segunda interface, NNI-I (*Interconnect Network-Network interface*), ilustrado na Figura 14, é a interface localizada entre as redes de ambas as partes durante uma chamada. Cria-se uma conectividade fim-a-fim exigindo uma implementação comum a ambas as redes de forma a remover a necessidade de *interworking* (dirimindo assim problemas de interoperabilidade entre as redes), a qual é bastante cara. [8]



Figura 14 – **User Network Interface (UNI) and Interconnect Network-Network Interface** –
Dan Warren, “Voice Over LTE”, in GSM Association, 2010, <<https://infocentre.gsm.org>>

A terceira interface, *roaming interface* é uma interface localizada entre a rede local e a rede visitada, usado por usuários de *roaming* em redes visitadas, não ligados à sua rede doméstica. É a interface mais desafiadora, em que exige a compatibilidade entre redes diferentes, já que a incompatibilidade com qualquer solução de *roaming*, de outras redes, pode afetar o serviço de voz dos *roamers* nessas redes.

O principal desafio nesta situação é definir uma separação entre redes locais e visitadas. A separação funcional selecionada por One Voice torna a experiência do usuário mais confortável, uma vez que dá a capacidade de otimizar o caminho para sessões de voz e minimizar o número de gateways reduzindo assim o tempo de configuração de chamada. Após esta etapa, tem-se uma interface comum de *roaming* que permite a comunicação entre operadoras, políticas de controle e etc.

O Trabalho da GSMA não será limitado à adição de novas interfaces, mas vai abranger os requisitos técnicos necessários que propicie uma experiência de voz adequada em uma rede com diferentes tecnologias. Para uma operadora iniciar a implantação do LTE, questões como área de cobertura LTE devem ser avaliadas além do procedimento de *handover* para redes legadas ser uma premissa necessária.

A arquitetura da solução *One Voice* por utilizar o conceito de IMS precede o estabelecimento do VoLTE, o qual será tratado com mais detalhes na próxima seção.

3.4 Voice Over LTE – VoLTE

O sistema VoLTE abrange a solução One Voice e se estende no conceito IMS MMTel (IP Media Subsystem Multimedia telephony service - especificado no perfil GSMA IR 92).

Como discutido, LTE requer uma migração para uma solução de voz sobre IP (VoIP) através do sistema IMS. Até que isso seja viável em termos técnicos, operacionais e financeiro aparelhos LTE precisam ter a capacidade de reverter as chamadas de voz para 2G/3G, uma abordagem que não se torna ideal a longo prazo. Objeto de pesquisa e desenvolvimento por muitas operadoras, o sistema de voz sobre LTE (VoLTE) está amadurecendo rapidamente e gradualmente sendo absorvido pelas operadoras.

Quando comparada com soluções anteriores, VoLTE difere em muitos aspectos, resultado de uma nova interface de *hardware* e *software* entre a amostragem de voz, geração pacotes RTP/IP, compressão de cabeçalho e funções de escalonamento. Dentre as diferenças estão a natureza de escalonamento dinâmico juntamente com retransmissões variáveis, intercaladas com procedimentos de *handover inter-cell*, podendo introduzir um significativo *jitter*.[15]

O objetivo global da qualidade de voz para o VoLTE é que as chamadas de voz sejam percebidas da mesma forma ou melhor do que uma chamada 3G. A qualidade é percebida pelo usuário por meio de dois aspectos: tempo gasto no seu estabelecimento e disponibilidade da rede.

Mais especificamente, como introduzido anteriormente (Seção 1.2; Figura 2), a arquitetura VoLTE absorve os conceitos da solução One Voice e implementa, amparados pelo GSMA, um conjunto de serviços adotados pelo IMS. De forma mais detalhada o IMS atua como uma arquitetura de acesso independente de controle de serviço e conectividade, baseada no padrão IP, que habilita vários tipos de serviço multimídia para usuários finais, através da utilização de protocolos baseados na rede Internet *all-IP* (Ex: *Session internet Protocol* – SIP para suporte de tráfego de voz na rede LTE) [3], os quais, interoperam com a rede LTE/EPC existente para o transporte do tráfego de voz. Portanto, a

arquitetura VoLTE suporta não só serviços de voz como também de dados e multimídia.

Para o SMS, que é um serviço inerente ao CS, a solução alvo será baseada diretamente sobre o IMS para a UE quando a rede tiver suporte ao SMS-over-IP. Para tal o mecanismo de transição irá ser o SMS sobre SGs, tal como mencionado em 3.1 e definido no 3GPP.

A Figura 15 retrata os componentes existentes na rede LTE/EPC e no IMS que compõem a arquitetura da solução VoLTE:

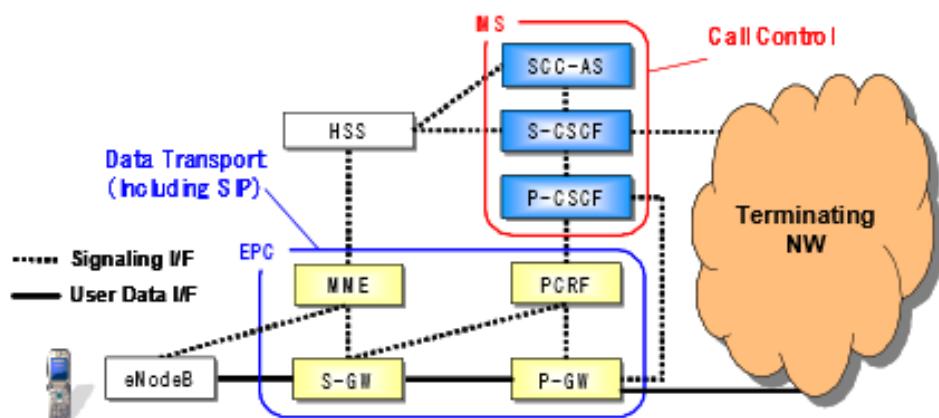


Figura 15 - Arquitetura da rede VoLTE - Koshimizu, T.; Tanaka, I.; Nishida, K., "Improvement on the VoLTE (Voice over LTE) Domain Handover with Operator's Vision," World Telecommunications Congress (WTC), March 2012

A última versão do IMS (Release 8) introduz as seguintes capacidades para o usuário [9]:

- *IMS centralized services*: Permitir que os dispositivos que utilizam conexão CS utilizam serviços IMS.
- *Multimedia session continuity*: Melhorar a função da continuidade da chamada de voz para permitir a continuação de fluxo multimídia quando o acesso IP é alterado.

- *Single-Radio Voice Call Continuity*: Permitir transferência do serviço de voz entre o LTE (IMS VoIP) e o CS.

Desse modo o IMS torna-se uma solução satisfatória para o serviço de voz sobre IP, pois soluciona os problemas de agregação da solução de voz com a rede de dados além de permitir a integração entre os domínios CS e PS.

O IMS é formado pelo S-CSCF (*Serving-CSCF*), P-CSCF (*Proxy-CSCF*) e AS (*Application Server*). O S-CSFS realiza o controle de chamada e coordenação de serviços entre ASs. P-CSCF fornece a funcionalidade de *proxy* no IMS, é responsável pelo controle de sinalização SIP, seja numa rede local ou vizinha. O SCC-AS ,visualizado na Figura 15, prevê a transferência da sessão de VoLTE para rede CS. AS é um servidor de aplicativos que fornece vários serviços, dentre eles o de voz. [10]

Portanto, a solução VoLTE exige uma estreita relação entre IMS e o núcleo EPC. Mais especificamente, o IMS fornece o controle de chamadas e requisita ao EPC que forneça transporte de recursos e QoS para um UE em particular.

Inicialmente quando o UE se conecta ao EPC, uma mensagem para a sinalização SIP (*Session Initiation Protocol*) é estabelecida. Então, o UE envia pedido para uma sessão de voz, uma mensagem SIP é enviada através da portadora de sinalização SIP para o PGW, e segue ao P-CSCF. Quando o P-CSCF recebe a mensagem SIP, ele de um lado continua procedimento de configuração da chamada com o IMS, e, ao mesmo tempo, do outro lado solicita ao PCRF uma portadora adicional para a transmissão dos meios de comunicação de voz. Desse modo, o PCRF solicita P-GW/S-GW para reservar recursos necessários, com base na informação relativa ao meio que está contido na mensagem SIP. Por fim, a comunicação do serviço de voz pode ser transferida entre a origem e o destino.[10]

No Anexo A ((Seção A.3) - Figura 21) encontra-se um diagrama de sequência mais detalhado dos eventos que ocorrem durante uma chamada de voz na rede VoLTE.

3.4.1 Single Radio Voice Call Continuity

Como os sistemas LTE implementam a cobertura VoLTE de forma ainda bastante limitada prevê-se que serão necessários muitos anos antes da cobertura LTE completa ficar disponível. Por isso, é necessário que as operadoras possuam um sistema que possa acomodar de uma maneira contínua e eficiente questões de interoperabilidade com redes legadas.

SRVCC é uma funcionalidade do LTE que permite que uma chamada VoLTE, no domínio comutado por pacotes, seja transferida para um domínio legado de voz comutado por circuito (GSM/UMTS), conforme ilustrado na Figura 16. Usando SRVCC operadoras são capazes de fazer a transferência, mantendo a qualidade de serviço existentes e também garantir a continuidade das chamadas. O SRVCC requer apenas um único rádio ativo no aparelho e algumas atualizações para a infraestrutura da rede.

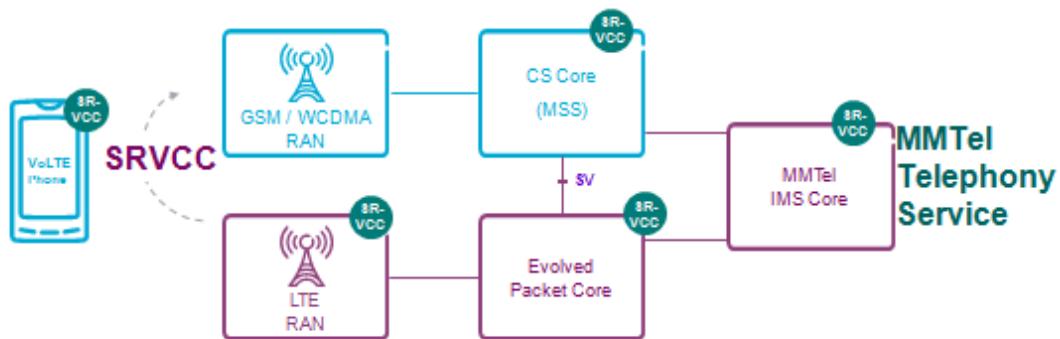


Figura 16 - Esquema de funcionamento Handover de voz SRVCC na rede LTE – Apresentação - Network Evolution with VoLTE Vivo

Quando um usuário, em uma chamada de voz ativa VoLTE, move-se para uma zona sem cobertura LTE, a entrega da chamada para a rede CS é realizado em duas etapas: *IRAT handover* e *session transfer*.

Handover IRAT: Handover tradicional do dispositivo de acesso do usuário de rádio LTE para acesso de rádio GSM/UMTS.

Session transfer: Mecanismo para mover o controle de acesso e mídia de voz ancorados no LTE/EPC para o legado núcleo CS.

Durante todo o processo de transferência de voz do LTE para 2G/3G, o IMS/MMTel possui o controle do usuário. O processo de *handover* é iniciado por um *session transfer request* para o IMS/MMTel.

O IMS/MMTel responde simultaneamente com dois comandos, um para uma rede LTE e outro para a rede 2G/3G. A rede LTE, onde está a chamada de voz do usuário em andamento, recebe um comando de execução *handover IRAT* por meio do MME e o LTE RAN instrui o dispositivo do usuário para se preparar para uma chamada de voz numa rede CS. A rede CS, onde a chamada de voz do usuário está sendo enviada, recebe uma *session transfer response* preparando-a para aceitar a chamada em andamento.

Com as confirmações de que os comandos foram executados, o dispositivo do usuário e o IMS/MMTel (ainda com controle de chamada de voz do usuário em andamento) transfere para a rede CS continuar a chamada.

No Anexo A ((Seção A.4) - Figura 22) encontra-se um diagrama de sequência mais detalhado dos eventos que ocorrem quando uma chamada VoLTE ativa com a funcionalidade SRVCC, sai da área de cobertura 4G/LTE e passa para o domínio 3G/UMTS ou 2G/GSM.

Capítulo 4 – Análises e Resultados

Este capítulo tem por objetivo descrever uma análise comparativa das abordagens apresentadas que propiciam o serviço de voz sobre a rede 4G/LTE. Sobretudo, relatar o atual cenário das comunicações móveis, num contexto local, apresentando as soluções já implantadas nas operadoras e apontando tendências de modo a traçar as características do cenário adotado e realizar um prognóstico de futuro sobre a evolução do serviço de voz nas comunicações móveis.

Portanto, a seção 4.1 relata uma análise de todas as abordagens estudadas através de sua arquitetura e características de cada solução. A seção 4.2 descreve as perspectivas de adoção de cada abordagem e o atual cenário, em nosso território, do serviço de voz em redes LTE.

4.1 Análise comparativa das soluções apresentadas

Como descrito neste trabalho, a implantação LTE por parte das operadoras acarreta alguns problemas em relação ao seu custo e a complexidade elevados, além de dever garantir a continuidade do serviço de voz. Este capítulo visa comparar as soluções propostas para adicionar o serviço de voz em uma rede 4G/LTE e retratar o atual cenário, sob o ponto de vista das operadoras, em relação à abordagem adotada, propondo uma análise crítica da qualidade do serviço e relacionando com perspectivas de futuro.

O CSFB é o primeiro passo para que aparelhos LTE *single radio* com vantagens de custo, tamanho e bateria que possibilita tráfego dados na rede LTE (em áreas fora da cobertura LTE *data fallback* para 2G/3G) em combinação com serviço voz na rede 2G/3G.

Contudo, o CSFB pode causar interrupção na conexão de dados LTE (caso o usuário esteja com uma sessão dados ativa) e implicar em um *delay* adicional de configuração de chamada, pelo fato de integrar dois sistemas diferentes (LTE e

2G/3G) para estabelecimento da chamada (principalmente em *incoming voice calls* onde o procedimento de *paging* é necessário). Além disso, não há nenhuma evolução dos serviços, apenas o atual serviço de voz e SMS pode ser oferecido aos consumidores que utilizam *smartphones* LTE.

Apesar disso, mesmo quando o VoLTE estiver amplamente estabelecido, os aparelhos ainda continuarão a necessitar fundamentalmente do CSFB para *roaming*. Por exemplo, quando a rede visitada não tem o IMS ou quando o protocolo de roaming IMS ainda não esteja implantado, CSFB pode fornecer o serviço de chamadas de voz para *roamers* LTE visitantes.

VOLGA surge como uma outra solução promissora para ser a principal ponte entre 2G/3G e 4G/LTE. Por possuir uma arquitetura transparente ao usuário e reutilizar os equipamentos de circuito comutado em redes LTE ativas é suportado por todos os principais fabricantes de aparelhos móveis evitando problemas no desenvolvimento de novos equipamentos (como no caso da implantação do 3G, onde as operadoras esperaram anos para terem celulares viáveis). Sua principal vantagem em relação ao CSFB é que pode ser desenvolvido rapidamente adaptando o sistema *Generic Network Access* (que já provou ser uma plataforma bem sucedida para entrega de serviço móvel de voz e dados em redes de acesso IP) para o LTE. Como desvantagem encontra-se o fato de ainda não ser totalmente padronizado pelo 3GPP.

No lado da rede, VOLGA exige apenas melhorias de *software* para os circuitos *packet gateway*. Não são necessárias modificações nas centrais de comutação celular ou o núcleo de rede e nós de acesso LTE. Isso permite um desenvolvimento e introdução no mercado rápida, especialmente em ambientes de vários fornecedores MSC de rede. No lado do usuário as duas principais adições de *software* requeridas são para incluir a tecnologia de acesso LTE como interface de rádio, juntamente com um procedimento modificado de *handover* (a abordagem VoLGA também permite um suave *handover* de chamadas de voz, em curso, para GSM ou UMTS) quando o assinante deixa a área de cobertura LTE.

Como foi dito, a solução VoLGA por não ser totalmente padronizada, fez com que muitas operadoras e fornecedores que antes apoiavam esta abordagem passassem a apoiar o One Voice.

A abordagem One Voice é um IMS utilizado em sua capacidade mínima para fornecer VoLTE, portanto é uma boa solução para alcançar a solução alvo IMS, e realizar o sonho de multimídia das operadoras podendo fornecer qualquer novo serviço, desejado pelo assinante, adicionando os componentes IMS-periféricos necessários, sem substituir sistemas funcionais inteiros, chegando progressivamente à configuração completa do IMS.

A abordagem VoLGA, descrita anteriormente, por usar uma arquitetura diferente não permite uma abordagem pragmática IMS. Dessa forma a lista de apoio das operadoras junto a abordagem One Voice está aumentando. Possuir um grande acordo para uma tecnologia específica torna a vida mais fácil para as operadoras, especialmente em caso de *roaming*. Logo, One Voice afirma-se como uma escolha viável para qualquer operador na fase inicial de implantação.

Há ainda uma outra abordagem alternativa fundada sobre aplicações *over-the-top* (como *Skype* ou *Google talk*) que podem fornecer o serviço de voz sobre LTE (especialmente atrativas devido ao custo para chamadas internacionais). Muitos usuários começam a usar este tipo de abordagem em contraposição da utilização da rede legada 2G/3G, a qual é muito cara, e assim as operadoras começam a perder um pouco de sua fonte permanente de receita. Aparentemente, esta solução quebraria quase todas as limitações existentes, por meio de características de ampla largura de banda, baixa latência e por ser *all-IP*. Porém, o principal problema desta solução é que não receberia nenhum apoio das operadoras que não querem peder o principal gerador de receitas de voz para aplicações, *over-the-top*. Outra desvantagem é que dependeria exclusivamente de conectividade com a internet para que o serviço seja prestado.

Por fim, foi visto que o LTE originalmente projetado como um sistema celular totalmente IP, necessita também garantir o serviço de voz e SMS aos clientes transferindo às operadoras a obrigação de solucionar este problema. Portanto,

VoLTE proporcionará uma solução que além de oferecer os benefícios de telefonia atual, apoia a evolução da oferta de novos serviços fazendo uso dos recursos de banda larga, os quais facilmente adicionam novos pacotes de serviços atraentes gerando maiores receitas (Ex: *HD Voice, Video Communication, Multimedia applications etc.*).

O VoLTE garante uma maior eficiência em comparação com gerações anteriores (2G/3G) e aplicações *best-effort over-the-top VoIP*. Algumas características do 4G/LTE, que propiciam tal condição, são as seguintes: [13]

- Eficiência espectral;
- Latência;
- QoS;
- Mobilidade;
- Serviços multimídia.

Por fim, em um cenário ideal VoLTE, o usuário, dentro de sua área de cobertura, será capaz de vários recursos, conforme ilustrado na Figura 17.



Figura 17 - Recursos de um usuário VoLTE – Modificado [Presentation Network Evolution with VoLTE Vivo]

As principais desvantagens desta abordagem é devido a sua complexidade e alto custo inicial de implantação além de apresentar gastos até 10 vezes maiores

que o 3G, principalmente quando se trata do consumo de bateria dos *smartphones*.

4.2 Cenário atual do serviço de voz em redes LTE

Do ponto de vista prático foi diagnosticado que atualmente as principais operadoras de serviços móveis que operam em nosso território encontram-se na primeira fase da evolução do serviço de voz conforme descrito em 2.3.

Embora os resultados não combinem com a principal tendência, que aponta as principais operadoras e fornecedores migrando para uma abordagem *One Voice* como principal alternativa e de forma secundária a proposta VOLGA, por motivos de desempenho já descritos na seção anterior, o CSFB aparece atualmente amplamente disseminado em operadoras de telecomunicações que oferecem comunicação móvel em nosso território como solução adotada para serviço de voz em redes 4G/LTE.

Este fato foi analisado, de forma sigilosa, junto a profissionais que trabalham dentro dessas operadoras e as duas principais razões que podem ser explicadas são: alto custo da implantação de um novo núcleo da rede *all-IP* e o fato de toda a infra estrutura de telefonia móvel já estar alicerçada sobre redes 2G/3G.

É fato que as operadoras mais cedo ou mais tarde terão que mover seus serviços de voz e SMS para LTE. Uma importante *feature* conhecida por SRVCC (descrita em 3.4.1) garante que tal funcionalidade seja implementada de forma suave pois quando adicionada junto ao VoLTE permite então que uma chamada de voz LTE ativa, sob tutela do IMS, transite para uma rede fora da área de cobertura, 3G/UMTS ou 2G/GSM (procedimento de *Handover*). Portanto, o SRVCC embora aumente significativamente a complexidade da rede por apoiar ambos os domínios (PS e CS), contribui para uma rede mais confortável para os usuários, porque sem ele, estes iriam sofrer com o elevado número de queda de chamadas relacionada com a perda de cobertura LTE. Além disso permite uma adoção do VoLTE lenta, progressiva e segura pois não requer que uma nova infra estrutura de rede seja

adotada em um curto espaço de tempo, permitindo uma interoperabilidade entre as gerações de redes móveis envolvidas.

Capítulo 5 – Conclusões e trabalhos futuros

Neste projeto de conclusão de curso foi realizado uma análise de diversas técnicas que propiciam soluções viáveis para o serviço de voz na rede 4G/LTE. Juntamente com um levantamento ligado as operadoras de comunicação móvel foi possível traçar conclusões a respeito da adoção de determinada solução e ter uma visão mais profunda dos reais problemas encontrados quando *smartphones* utilizam a banda 4G/LTE para chamadas de voz e SMS.

Neste capítulo, serão feitas as considerações finais em relação ao que foi debatido e também serão discutidos os trabalhos futuros.

5.1 Conclusões

Todo trabalho encontra-se fundamentado em soluções e tecnologias já conhecidas na literatura e validadas em um cenário prático junto as operadoras de telecomunicações locais. Contudo, ao fazer uma análise um pouco mais profunda de estudo de caso com o usuário que utiliza a tecnologia 4G/LTE percebe-se que a solução empregada pelas operadoras para oferecer o serviço de voz ainda gera bastante confusão e desconforto ao usuário.

Isto advém do fato que no Brasil o VoLTE ainda não foi totalmente padronizado e implementado acarretando um problema, pois da forma que está estruturado, o 4G brasileiro não permite fazer ou receber chamadas de voz ou trocar mensagens SMS. Estas funcionalidades estão disponíveis apenas através da rede 2G/3G.

Especialistas tentam justificar que a atual tendência de aplicações ricas em dados torna a voz agora uma fração menor da expectativa dos usuários. Entretanto, muitos problemas de qualidade e confiabilidade estão sendo encontrados no serviço

de voz, tornando a experiência do usuário muitas vezes insatisfatória e promovendo ações corretivas a curto e médio prazo por parte das operadoras.

Muitas queixas são de usuários que se sentem lesados em fazer e receber ligações e trocar SMSs pagando por um plano 4G. Ações jurídicas neste sentido estão crescendo paulatinamente. A razão disso é que quando conectados a rede 4G não recebem nem fazem ligações por meio desta, ainda que o plano escolhido seja comercializado como um plano 4G, atrelado a voz e SMS, conforme constatado nos sites das principais operadoras do nosso país e sem mencionar a inexistência do VoLTE.[12]

Para então receber mensagens SMS e fazer ou receber chamadas de voz, a rede da operadora força o *smartphone* a cortar a conexão 4G, em favor da 3G, mesmo que a primeira esteja em uso, caracterizando assim crime de propaganda enganosa, pois o serviço oferecido (3G) não é o mesmo do plano contratado (4G). Além disso, força o usuário a reiniciar a conexão, se quiser continuar visualizando uma página, vídeo ou navegando na internet aumentando sensivelmente o *delay* e o número de interrupções durante a conexão de dados.

Em resumo atualmente paga-se muito caro pelos planos 4G/LTE que oferecem de forma enganosa, como visto, uma suposta qualidade *HD Voice* para o usuário. Mostrou também não ser uma tecnologia totalmente confiável e com cobertura da rede ainda limitada.

Uma prova de que ainda não existe chamada de voz ou VoIP dentro da rede 4G de qualquer operadora brasileira são as configurações de rede e seleção de banda dos *smartphones* encontrados no mercado, ilustrado na Figura 18. Nele não existe a opção para funcionar somente na banda LTE 4G, apenas trabalhar em modo automático ou somente em banda GSM (2G) ou somente em WCDMA (3G).



Figura 18 - Configuração das bandas de rede disponíveis em *smartphones* -
<http://a.disquscdn.com/uploads/mediaembed/images/946/9118/original.jpg>

O UE necessita ainda atender às especificações e as contribuições de atraso de processamento interno do outro usuário para que as metas de JBM (*Jitter Buffer Management*) sejam cumpridas. Este é um fator crítico e bastante importante, visto que, ao tratar de uma sessão de VoIP fim-a-fim atrasos na rede e processos de pré-codificação e pós-codificação devem ser levados em conta para validar a abordagem VoLTE.

Algumas empresas de telecomunicações móveis estrangeiras como a *Verizon Communications* e AT&T, companhias estadunidenses especializadas em telecomunicações, já planejam o lançamento do VoLTE em tantos lugares que seus clientes nunca terão que deixar a sua rede 4G garantindo uma disponibilidade quase que ubíqua de sua rede LTE. [14]

Estudos apontam que a alta definição de áudio em 4G (*HD Voice*) deve chegar ao Brasil em fase de testes para usuários *Premium* em meados de 2015. Segundo este levantamento o lançamento dessa tecnologia seria também um preparativo para as Olimpíadas de 2016, já que as operadoras tem discutido acerca da realização de testes antes do lançamento oficial no Brasil. [11]

5.2 Trabalhos futuros

Como trabalho futuro pode-se sugerir tão logo o VoLTE esteja implementado alguns trabalhos mais específicos visando análise de desempenho da rede segundo parâmetros de complexidade, custo, qualidade do serviço, largura de banda, latência, interoperabilidade com redes legadas e todos os demais parâmetros necessários que garanta um nível satisfatório de QoE (*Quality of Experience*) para o usuário final.

Implementar na POLI um laboratório 4G/LTE, opcionalmente no PARQTEL, com equipamentos cedidos por fabricantes e/ou operadoras através de softwares de simulação, como já o faz o IFPB. Este laboratório será usado para apoiar as aulas de graduação e pós, além de plataforma para desenvolvimentos e pesquisa em LTE.

Estudar o uso de aplicações (*Skype, Google Talk* etc) e seu impacto na rede, independente de soluções das operadoras, que receberiam sua remuneração pelo uso da rede, quando do uso destas aplicações.

Anexo A

A.1)

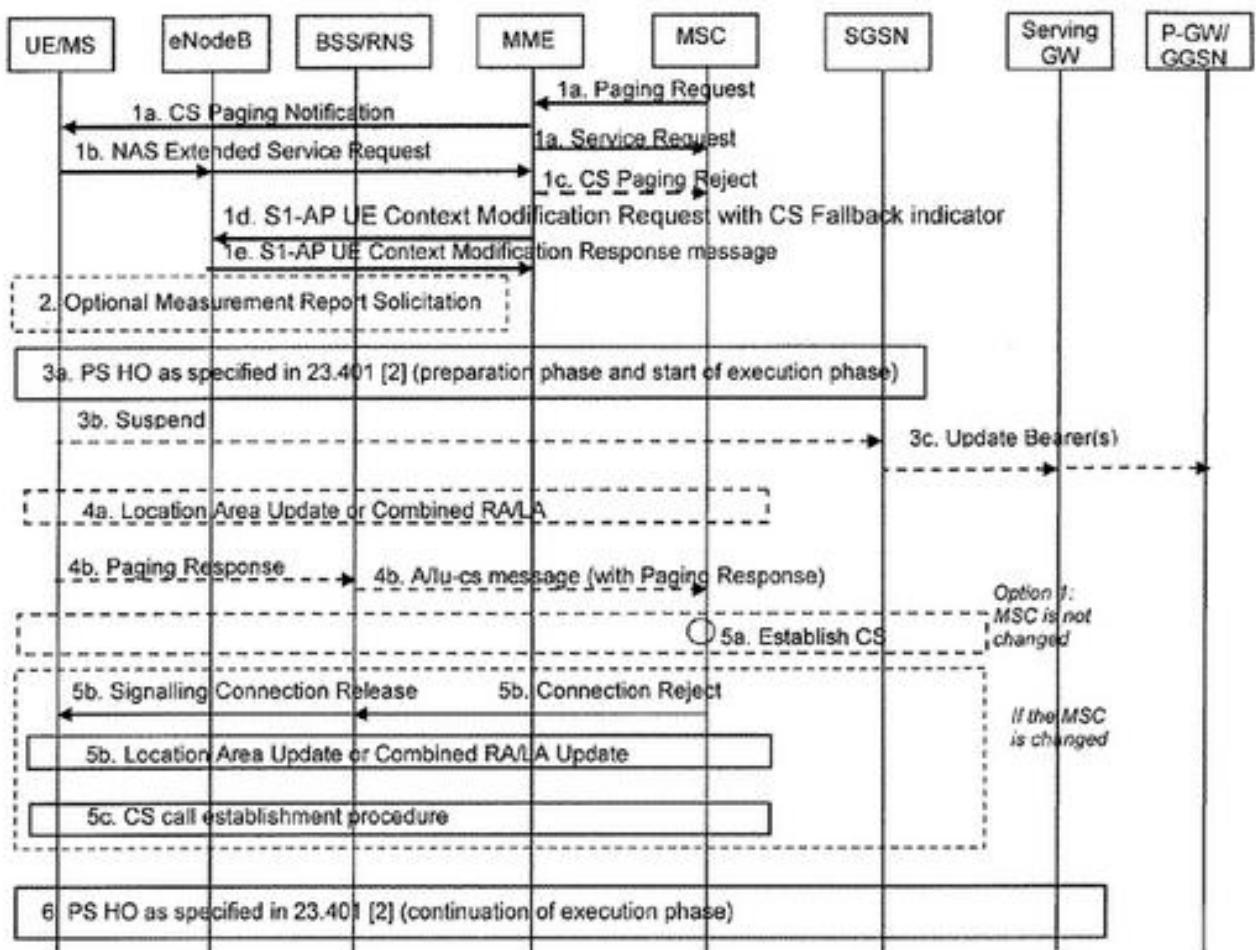


Figura 19 - Diagrama de sequência dos eventos para o procedimento CSFB –

Patentdocs, Circuit Switch FallBack Reselection, Apr. 12, 2012.

A.2)

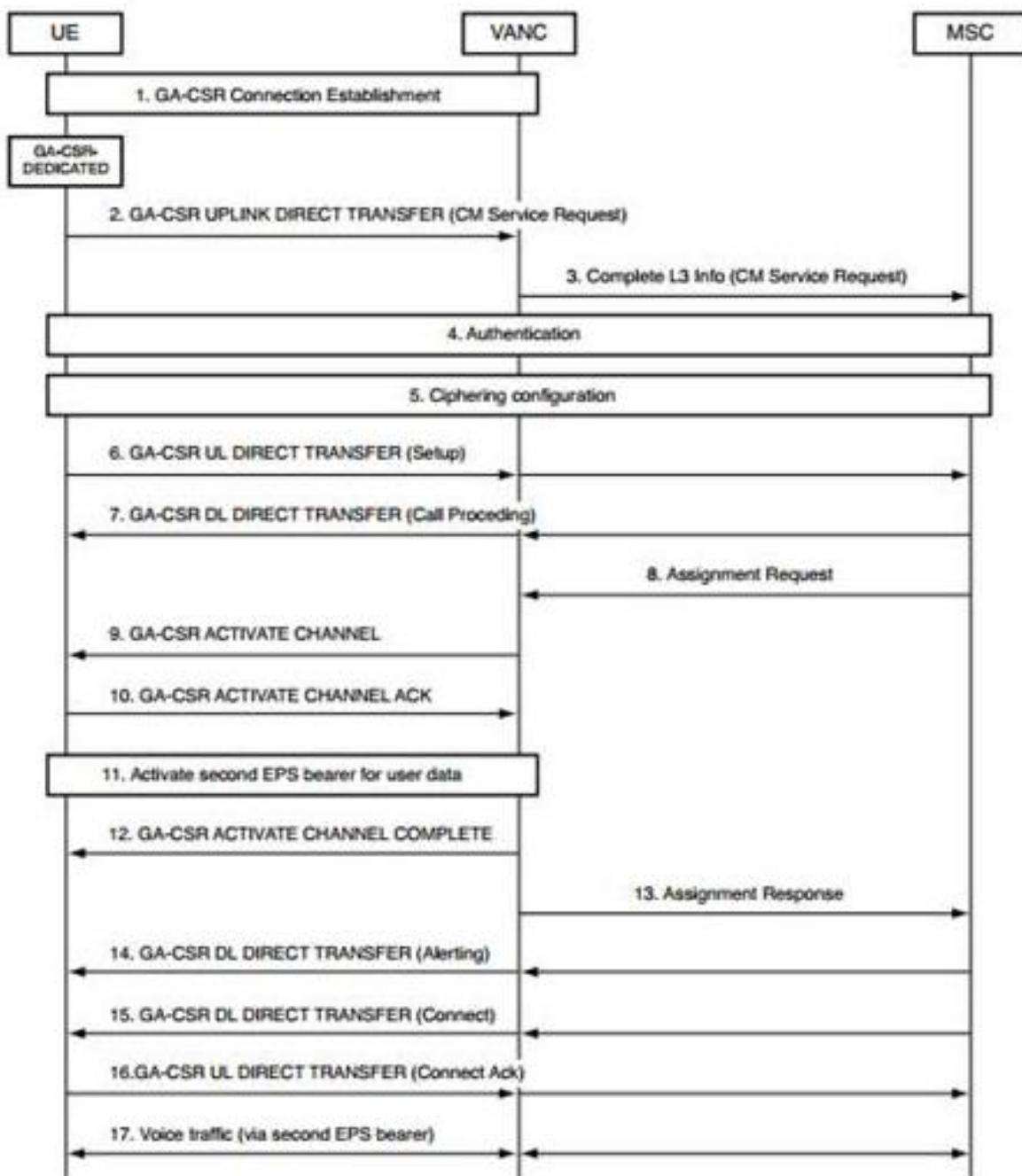


Figura 20 – Diagrama de sequência de uma chamada na arquitetura VoLGA -

www.kineto.com/pdf/downloads/2009_MartinSauter_VOLGA.pdf

A.3)

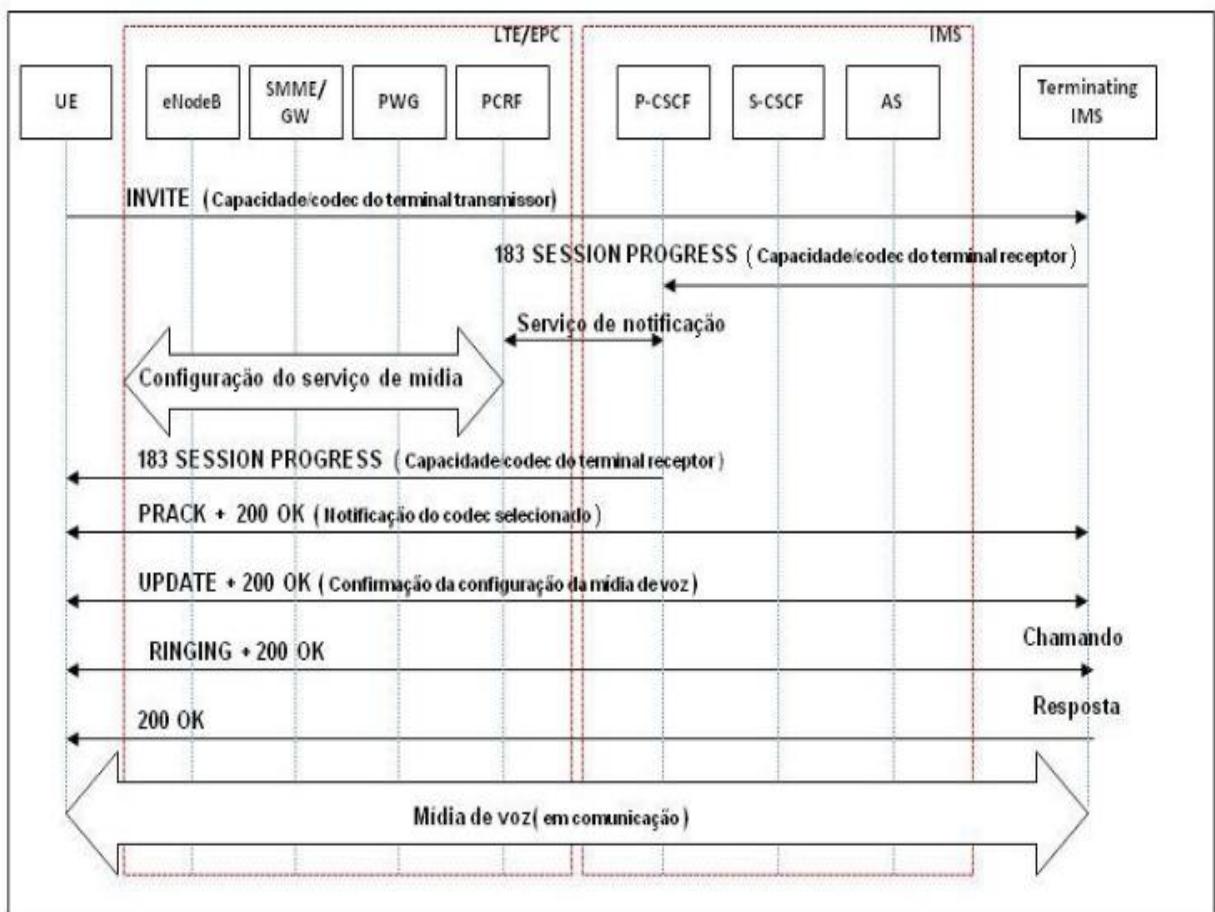


Figura 21 – Diafragma de sequência de uma chamada de voz na rede VoLTE (Sinalização SIP) - Takaki Ricardo; Bazzo Juliano Voz para a rede LTE, dez. 2012.

A.4)

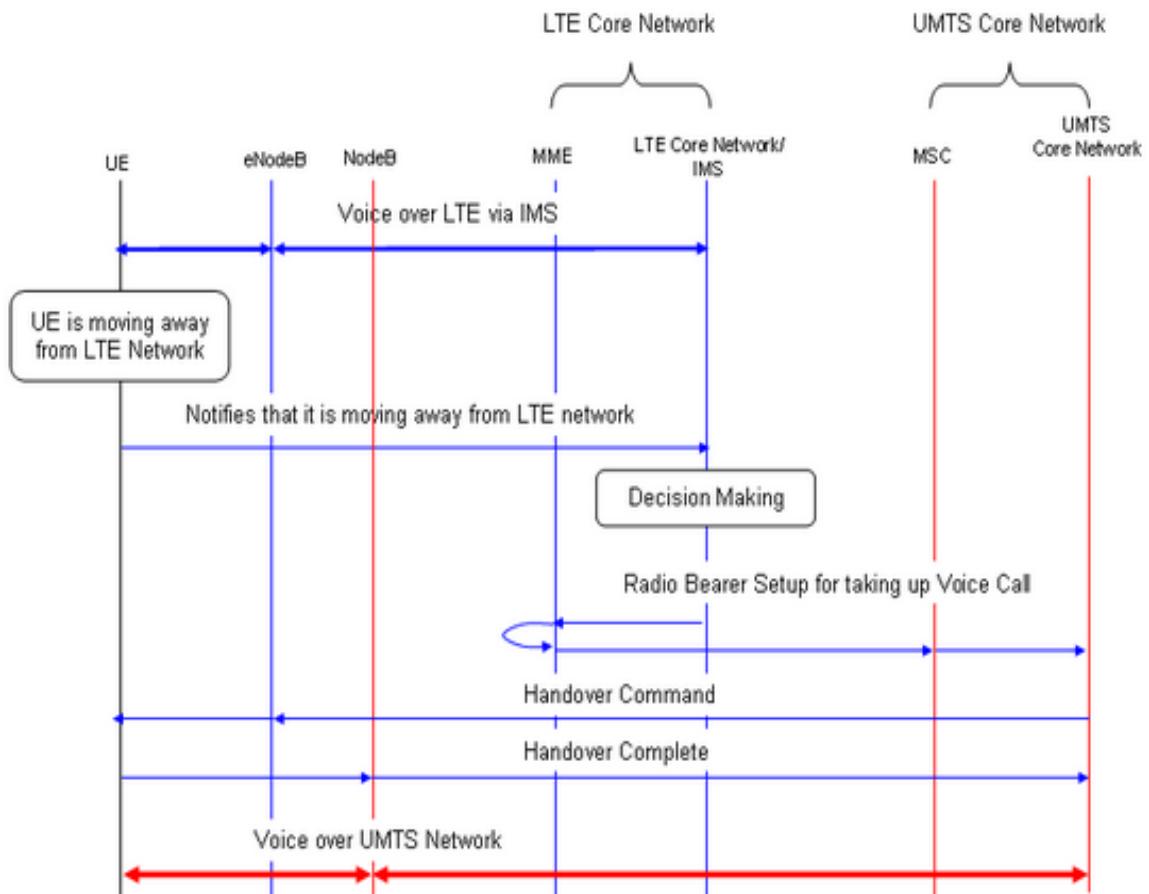


Figura 22 - Diagrama de sequência do procedimento de SRVCC -

http://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_SRVCC.html

Referências Bibliográficas

- [1] Sabtu, “Voice over LTE - VoLTE”, in RF Optmization, 13 July 2011,
Disponível em:
[<http://rfoptimisation.blogspot.com/2011_07_01_archive.html>](http://rfoptimisation.blogspot.com/2011_07_01_archive.html)
- [2] BROWN, G. Alcatel-Lucent. **Examining the case for VoLTE & Rich Media Communications**, Heavy Reading, January 2012. White paper.
Disponível em:.
[<http://www.ericsson.com/res/docs/2012/HR_VoLTE_WP_Final.pdf>](http://www.ericsson.com/res/docs/2012/HR_VoLTE_WP_Final.pdf).
- [3] Takaki Ricardo; Bazzo Juliano **Voz para a rede LTE Campinas**, v, 8, n. 2, p. 27-32, jul./dez. 2012
- [4] **Revista INATEL Telecomunicações, Vol 01. No.01**, agosto de 1998.
Disponível em:
[<http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/dayani/intro01.html>](http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/dayani/intro01.html)
- [5] Alcatel-Lucent, **Alcatel-Lucent Mobile Gateways for the LTE Evolved Packet Core**, 2012
- [6] Qualcomm, **Circuit Switch fallback. The first phase of voice evolution for móible LTE devices**, 2012
Disponível em:
[<https://www.qualcomm.com/media/documents/files/circuit-switched-fallback-the-first-phase-of-voice-evolution-for-mobile-lte-devices.pdf>](https://www.qualcomm.com/media/documents/files/circuit-switched-fallback-the-first-phase-of-voice-evolution-for-mobile-lte-devices.pdf)
- [7] Teleco, Seção Tutoriais; **LTE II:Voz para a rede LTE**, 2014
Disponível em:
[<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialltevoz2/pagina_2.asp>](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialltevoz2/pagina_2.asp)

- [8] Dan Warren, “**Voice Over LTE**”, in **GSM Association**, 2010,
Disponível em:
http://www.3gpp.org/FTP/Information/presentations/presentations_2010/2010_06_Latin_America/DanWarren_GSMA_%20VoLTE@RoamingLTE.pdf.
- [9] Jouihri, Y.; Guennoun, Z., "Best selection for operators starting LTE deployment towards voice services," *Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, Maio 2012
- [10] Koshimizu, T.; Tanaka, I.; Nishida, K., "Improvement on the VoLTE (Voice over LTE) Domain Handover with Operator's Vision," Março 2012
- [11] MobileTime; **Alta definição de áudio em 4G deve chegar ao Brasil em 2015**
Disponível em:
<http://www.futurecom.com.br/blog/alta-definicao-de-audio-em-4g-deve-chegar-ao-brasil-em-2015/>
- [12] Vaz, Wagner; **4G no Brasil: o que as operadoras esquecem de te contar**
Disponível em:
<http://showmetech.band.uol.com.br/4g-no-brasil-o-que-as-operadoras-nao-contam/>
- [13] Carvalho,Ricardo; **As vantagens do LTE 4G**
Disponível em:
<http://www.ricardomcarvalho.pt/blog/as-vantagens-do-lte-4g/>
- [14] Lewis,Debi; **Verizon and AT&T Move Toward Voice over LTE (VoLTE) Interoperability.**
Disponível em:
<http://www.verizonwireless.com/news/article/2014/11/verizon-and-att-move-toward-voice-over-lte-volte-interoperability.html>
- [15] ANEHILL,M; **IP Multimedia Subsystem (IMS); Multimedia Telephony; Media handling and interaction** 3GPP TS 26.114

